



⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 43 36 891 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**H 01 L 33/00**

⑳ Aktenzeichen: P 43 36 891.3  
㉔ Anmeldetag: 28. 10. 93  
㉕ Offenlegungstag: 11. 5. 94

DE 43 36 891 A 1

③① Unionspriorität: ③② ③③ ③①  
29.10.92 JP P 316598/92

⑦① Anmelder:  
Toyota Gosei Co., Ltd., Aichi, JP; Akasaki, Isamu,  
Nagoya, Aichi, JP; Amano, Hiroshi, Nagoya, Aichi,  
JP

⑦④ Vertreter:  
Tiedtke, H., Dipl.-Ing.; Bühling, G., Dipl.-Chem.;  
Kinne, R., Dipl.-Ing.; Pellmann, H., Dipl.-Ing.; Grams,  
K., Dipl.-Ing.; Link, A., Dipl.-Biol. Dr., Pat.-Anwälte,  
80336 München

⑦② Erfinder:  
Manabe, Katsuhide, Aichi, JP; Kotaki, Masahiro,  
Aichi, JP; Kato, Hisaki, Aichi, JP; Sassa, Michinari,  
Aichi, JP; Akasaki, Isamu, Nagoya, Aichi, JP;  
Amano, Hiroshi, Nagoya, Aichi, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Lichtemittierende Halbleitervorrichtung mit einer Stickstoff-Gruppe-III-Verbindung

⑤⑦ Es wird eine lichtemittierende Halbleitervorrichtung be-  
schrieben, enthaltend eine N-Schicht eines N-Typ-Halblei-  
ters einer Stickstoff-Gruppe-III-Verbindung der Formel  
 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{In}_y\text{N}$  einschließlich  $x = 0$ ,  $y = 0$  und  $x = y = 0$ ,  
eine P-Schicht eines P-Typ-Halbleiters einer Stickstoff-  
Gruppe-III-Verbindung der Formel  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{In}_y\text{N}$  mit  $x = 0$ ,  
 $y = 0$  und  $x = y = 0$  und einer Zn dotierten semiisolierenden  
I-Schicht eines Halbleiters einer Stickstoff-Gruppe-III-Ver-  
bindung der Formel  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{In}_y\text{N}$  mit  $x = 0$ ,  $y = 0$  und  $x =$   
 $y = 0$ . Die semiisolierende I-Schicht hat eine Dicke von 20  
bis 3000 Å und kann Licht im Bereich von 485 bis 490 nm  
emittieren. Durch Verwendung der I-Schicht kann die licht-  
emittierende Diode insgesamt Licht in dem Bereich von 450  
bis 480 nm emittieren.

DE 43 36 891 A 1

Die vorliegende Erfindung betrifft eine lichtemittierende Halbleitervorrichtung, die blaues Licht emittiert und für die eine Stickstoff-Gruppe-III-Verbindung verwendet wird.

Es war bekannt, daß ein Halbleiter einer GaN-Verbindung verwendet werden kann, um eine lichtemittierende Diode (LED) zu erhalten, die blaues Licht emittiert. Diese Halbleitervorrichtung ist aufgrund ihrer hohen Lichtausbeute, die aus direkten Elektronenübergang resultiert, und ihrer Fähigkeit, blaues Licht zu emittieren, das eine der drei Primärfarben ist, nützlich.

Vor kurzem wurde gefunden, daß eine GaN-Schicht in eine GaN-Schicht vom P-Typ übergeführt werden kann, indem Mg als Verunreinigung dotiert wird und Elektronen in die GaN-Schicht eingestrahlt werden. Als Ergebnis wird die Verwendung einer GaN-lichtemittierenden Diode mit einem PN-Übergang anstelle eines Übergangs zwischen einer N-Schicht und einer semiisolierenden I-Schicht vorgeschlagen.

Jedoch gibt es bei der vorstehenden Vorrichtung ein Wellenlängenproblem. Die Wellenlänge des Lichts einer solchen LED mit einem PN-Übergang beträgt etwa 430 nm oder ist kürzer als die des blauen Lichts.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Lichtspektrum zu erzeugen, das von einem Halbleiter einer Stickstoff-Gruppe-III-Verbindung der Formel  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}$  einschließlich  $x=0$ ,  $y=0$  und  $x=y=0$  emittiert wird, das dichter an dem vom blauen Licht liegt.

Das erfindungsgemäße neuartige Merkmal beruht auf einer lichtemittierenden Halbleitervorrichtung enthaltend eine N-Schicht eines N-Typ-Halbleiters einer stickstoff-Gruppe-III-Verbindung der Formel  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}$  einschließlich  $x=0$ ,  $y=0$  und  $x=y=0$ , eine P-Schicht eines P-Typ-Halbleiters einer Stickstoff-Gruppe-III-Verbindung der Formel  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}$  einschließlich  $x=0$ ,  $y=0$  und  $x=y=0$  und eine Zn dotierte semiisolierende I-Schicht eines Stickstoff-Gruppe-III-Halbleiters der Formel  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}$  einschließlich  $x=0$ ,  $y=0$  und  $x=y=0$ , die zwischen der N-Schicht und der P-Schicht gebildet ist.

Erfindungsgemäß hat die semiisolierende I-Schicht vorzugsweise eine Dicke von 20 bis 3000 Å und enthält vorzugsweise Zn-Verunreinigungen in einer Konzentration von etwa  $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  bis  $1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ . Die Dicke der I-Schicht soll nicht weniger als 20 Å betragen, da sonst die semiisolierende I-Schicht eine geringe Luminanz hat. Die Dicke der I-Schicht soll 3000 Å nicht übersteigen, da sonst die Elektronenkonzentration, die in die P-Schicht eingestrahlt wird, verringert wird. Die Konzentration an Zn-Verunreinigungen soll nicht größer als  $1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$  sein, da sonst als Folge eine schlechte Kristallisationsqualität auftritt. Die Konzentration an Zn-Verunreinigungen soll nicht niedriger als  $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  sein, da sonst als Folge die Leuchtkraft der lichtemittierenden Diode abnimmt.

Wenn an die Diode eine Spannung angelegt wird, so daß das Potential der P-Schicht gegenüber dem der N-Schicht positiv ist, wurde für den Übergang zwischen der N-Schicht und der I-Schicht und für die I-Schicht eine Emission mit einem Wellenlängenmaximum von 492 nm beobachtet, und für den Übergang zwischen der I-Schicht und der P-Schicht wurde eine Emission mit einem Wellenlängenmaximum von 430 nm beobachtet. Mit Hilfe der vorliegenden Erfindung können für eine LED die langwelligen Anteile insgesamt erhöht und die Leuchtkraft des blauen Lichts erhöht werden.

Zu den beigefügten Zeichnungen:

Fig. 1 ist ein Diagramm, das die Struktur einer LED nach Beispiel 1 zeigt;

Fig. 2 bis 7 sind Schnittansichten, die die aufeinanderfolgenden Herstellungsstufen der LED nach Beispiel 1 zeigen;

Fig. 8 ist ein Diagramm, das die Struktur der LED nach Beispiel 2 zeigt;

Fig. 9 bis 15 sind Schnittansichten, die die aufeinanderfolgenden Herstellungsstufen der LED nach Beispiel 2 zeigen.

Die Erfindung wird unter Bezugnahme auf die folgenden Beispiele veranschaulicht.

Fig. 1 zeigt eine LED 10 mit einem Saphirsubstrat 1, die fünf Schichten hat, die aufeinanderfolgend darauf gebildet sind: eine 500 Å dicke AlN-Pufferschicht 2, eine 2,2 µm dicke GaN-N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit einer großen Ladungskonzentration (N-Typ), eine 1,5 µm dicke GaN-N-Schicht 4 mit einer geringen Ladungskonzentration (N-Typ), eine etwa 400 Å dicke GaN-I-Schicht 6, und eine 0,2 µm dicke P-Schicht 5. Aluminiumelektroden 7 und 8 sind mit der P-Schicht 5 bzw. der N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration verbunden. Sie sind durch einen Einschnitt 9 elektrisch isoliert.

Die LED 10 wurde durch Gasphasenwachstum, der sogenannten metallorganischen Dampfphasenepitaxie, hergestellt. Dieses Verfahren wird im folgenden MOVPE bezeichnet.

Die Gase die für dieses Verfahren verwendet wurden, waren NH<sub>3</sub>, ein Trägergas (H<sub>2</sub>), Trimethylgallium (Ga(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>) (im folgenden TMG), Trimethylaluminium (Al(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>) (im folgenden TMA), Silan (SiH<sub>4</sub>), Dicyclopentadienylmagnesium (Mg(C<sub>5</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>) (im folgenden CP<sub>2</sub>Mg) und Diethylzink (im folgenden DEZ).

Das monokristalline Saphirsubstrat 1, dessen Hauptoberfläche "a" mit einem organischen Reinigungsmittel und Wärmebehandlung gereinigt worden war, wurde auf eine Halterung in einer Reaktionskammer für die MOVPE-Behandlung gegeben. Anschließend wurde das Saphirsubstrat 1 bei 1100°C mit H<sub>2</sub>-Dampf geätzt, der der Kammer mit einem Durchsatz von 2 l/min unter Normaldruck zugeführt wurde.

Auf dem Saphirsubstrat 1 wurde die 500 Å dicke AlN-Pufferschicht 2 bei Bedingungen gebildet, gemäß denen die Temperatur in der Kammer auf 400°C erniedrigt wurde, sie konstant gehalten wurde und H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> und TMA mit einem Durchsatz von 20 l/min, 10 l/min bzw.  $1,8 \times 10^{-5}$  mol/min zugeführt wurden. Auf der Pufferschicht 2 wurde eine etwa 2,2 µm dicke GaN-N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration mit einer Elektronenkonzentration von  $1,5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  bei Bedingungen gebildet, gemäß denen die Temperatur des Saphirsubstrats 1 bei 1150°C gehalten wurde und H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, TMG und Silan, das mit H<sub>2</sub> auf 0,86 ppm verdünnt worden war, 30 Minuten lang mit einem Durchsatz von 20 l/min, 10 l/min,  $1,7 \times 10^{-4}$  mol/min bzw. 200 ml/min zugeführt wurden.

Auf der N<sup>+</sup>-Schicht 3 wurde eine etwa 1,5 µm dicke GaN-N-Schicht 4 mit geringer Ladungskonzentration mit einer Elektronenkonzentration von  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^3$  bei Bedingungen gebildet, gemäß denen die Temperatur des Saphirsubstrats 1 bei 1150°C gehalten wurde, und H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> und TMG 20 Minuten lang mit einem Durchsatz von 20 l/min, 10 l/min bzw.  $1,7 \times 10^{-4}$  mol/min zugeführt wurden.

Auf der N-Schicht 4 wurde eine 400 Å dicke GaN-I-Schicht 6 mit einer Zn-Konzentration von  $3 \times 10^{20}/\text{cm}^3$  bei Bedingungen gebildet, gemäß denen die Temperatur

des Saphirsubstrats 1 bei 900°C gehalten wurde und H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, TMG und DEZ 30 Sekunden lang mit einem Durchsatz von 20 l/min, 10 l/min,  $1,7 \times 10^{-4}$  mol/min bzw.  $1,5 \times 10^{-4}$  mol/min zugeführt wurden.

Auf der I-Schicht 6, wurde eine 0,2 µm dicke GaN-I-Schicht 5 bei Bedingungen gebildet, gemäß denen die Temperatur des Saphirsubstrats 1 bei 900°C gehalten wurde und H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, TMG und CP<sub>2</sub>Mg 3 Minuten lang mit einem Durchsatz von 20 l/min, 10 l/min,  $1,7 \times 10^{-4}$  mol/min bzw.  $2 \times 10^{-7}$  mol/min zugeführt wurden. Die I-Schicht 5 blieb nicht leitend.

Anschließend wurde eine P-Schicht 5 mit P-Typ-Leitung, wie nachstehend beschrieben, hergestellt. Elektronenstrahlen wurden einheitlich in die I-Schicht 5 eingestrahlt, indem eine Vorrichtung zur Reflexionsbeugung von Elektronen verwendet wurde. Die Bestrahlungsbedingungen waren Beschleunigungsspannung 10 kV, Probenstrom 1 µA, Geschwindigkeit der Strahlablenkung 0,2 mm/sek, Strahlöffnung 60 µmΦ und Vakuum  $2,1 \times 10^{-5}$  Torr. Diese Bestrahlung führte die nicht leitende I-Schicht 5 mit einem Widerstand von  $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$  oder mehr in einen leitenden Halbleiter vom P-Typ mit einem Widerstand von  $40 \Omega \cdot \text{cm}$  über.

Auf diese Weise wurde ein Wafer mit Multistrukturschichten, wie in Fig. 2 gezeigt, erhalten.

Die folgenden Fig. 3 bis 7 zeigen Schnittansichten eines Elements auf dem Wafer.

Eine 2000 Å dicke SiO<sub>2</sub>-Schicht 11 wurde auf der P-Schicht 5 durch Zerstäuben wie in Fig. 3 gezeigt gebildet. Die SiO<sub>2</sub>-Schicht 11 wurde mit einer Fotoresistschicht 12 beschichtet. Zwei ausgewählte Bereiche des Fotoresists, A und B bezeichnet, wurden von der P-Schicht 5 mittels Fotolithographie entfernt. Der Elektroden bildende Bereich A entspricht einer Stelle, an der ein Loch 15 (in Fig. 5 und 6 gezeigt) gebildet ist, das bis zur N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration reicht. Der Bereich B entspricht einer Stelle, an der ein Einschnitt 9, (ebenfalls in Fig. 5 und 6 gezeigt) gebildet ist, um den Bereich A von einer Elektrode der P-Schicht 5 zu isolieren.

Die Bereiche der SiO<sub>2</sub>-Schicht 11, die nicht von dem Fotoresist 12 bedeckt sind, wurden mit einer Ätzflüssigkeit wie Fluorwasserstoffsäure wie in Fig. 4 gezeigt, weggeätzt. Die ungeschützten Bereiche der folgenden, von der Oberfläche der Vorrichtung her aufeinanderfolgenden, 4 Schichten, nämlich der P-Schicht 5, der I-Schicht 6, der N-Schicht 4 mit geringer Ladungskonzentration und der obere Bereich der N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration wurden mittels Trockenätzung oder unter Anwendung einer hochfrequenten Leistungsdichte von 0,44 W/cm<sup>2</sup> und BCl<sub>3</sub>-Gas mit 10 ml/min bei einem Vakuumgrad von 0,04 Torr wie in Fig. 5 gezeigt entfernt. Danach wurde Trockenätzen mit Ar an der Vorrichtung durchgeführt. So wurden sowohl das Loch 15 für eine Elektrode, die bis zur N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration reicht, als auch der Einschnitt 9 zur Isolierung des Bereichs A von einer Elektrode der P-Schicht 5 gebildet.

Die SiO<sub>2</sub>-Schicht 11, die auf der P-Schicht 5 verblieb, wurde mit Fluorwasserstoffsäure wie in Fig. 6 gezeigt entfernt. Eine Al-Schicht 13 wurde auf die gesamte Oberfläche der Vorrichtung mittels Dampfablagerung wie in Fig. 7 gezeigt laminiert. So wurde die Al-Schicht 13 gebildet, die mit der N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration über das Loch 15 in elektrischem Kontakt steht. Anschließend wurde ein Fotoresist 14 auf die Al-Schicht 13 laminiert. Dies wurde mittels Fotolithographie weggeätzt, wobei Konfigurationsmuster für die

zwei Elektroden, die mit der N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration bzw. der P-Schicht 5 verbunden sind, verblieben.

Der ungeschützte Bereich der Al-Schicht 13, der nicht von dem Fotoresist 14 als Maske bedeckt war, wurde mit einer Ätzflüssigkeit wie Salpetersäure weggeätzt. Jetzt wurde die Al-Schicht 13, die in dem Einschnitt 9 eingelagert war, vollständig zur Isolierung entfernt. Nachdem das Fotoresist 14 mittels einer Fotoresistentfernungsflüssigkeit vollständig entfernt worden war, wurden zwei Elektroden, die Elektrode 8 für die N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration und die Elektrode 7 für die P-Schicht 5 gebildet. Ein Wafer, der nach dem vorstehenden Verfahren behandelt worden war, wurde in einzelne Elemente aufgeteilt, die eine Galliumnitrid lichtemittierende Diode mit PN-Struktur wie in Fig. 1 gezeigt aufwies.

Es wurde festgestellt, daß die erhaltene LED 10 eine Leuchtkraft von 10 mcd und eine Wellenlänge von 460 bis 470 nm aufwies. Im Gegensatz zu herkömmlichen LED's hat die erfindungsgemäße ein Emissionsspektrum, das um 20 bis 50 nm in Richtung langwelligen Endes verschoben ist und sie emittiert blaues Licht.

Alternativ kann Methyldicyclopentadienylmagnesium (Mg(C<sub>6</sub>H<sub>7</sub>)<sub>2</sub>) verwendet werden, um Mg zuzuführen.

Obwohl in Beispiel 1 eine N-Schicht mit Doppelstruktur verwendet wird, die eine N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration und eine N-Schicht 4 mit geringer Ladungskonzentration enthält, kann alternativ eine N-Schicht mit Einfachstruktur verwendet werden.

Eine LED mit einer N-Schicht mit Doppelstruktur ist heller als eine vergleichbare LED mit einer N-Schicht mit Einfachstruktur. Die wünschenswerte Elektronenkonzentration und Dicke der zwei Schichten der Doppelstruktur werden in den nächsten zwei Abschnitten beschrieben.

Die N-Schicht 4 mit geringer Ladungskonzentration enthält vorzugsweise eine Elektronenkonzentration von  $1 \times 10^{14}/\text{cm}^3$  bis  $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$  und hat eine Dicke von 0,5 bis 2 µm. Die Elektronenkonzentration der N-Schicht 4 soll nicht höher als  $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$  sein, da sonst die Leuchtkraft der LED verringert wird. Die Elektronenkonzentration der N-Schicht soll nicht geringer als  $1 \times 10^{14}/\text{cm}^3$  sein, da sonst der serielle Widerstand der LED erhöht wird und folglich Wärme abgestrahlt wird. Die N-Schichtdicke soll nicht größer als 2 µm sein, da sonst der serielle Widerstand der LED erhöht wird und folglich Wärme abgestrahlt wird. Die N-Schichtdicke soll nicht kleiner als 0,5 µm sein, da sonst die Leuchtkraft der LED verringert wird.

Die N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration enthält vorzugsweise eine Elektronenkonzentration von  $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$  bis  $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  und hat eine Dicke von 2 bis 10 µm. Die Elektronenkonzentration der N<sup>+</sup>-Schicht 3 soll nicht höher als  $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  sein, da sonst die resultierende LED eine schlechte kristalline Qualität hat. Die Elektronenkonzentration der N<sup>+</sup>-Schicht soll nicht geringer als  $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$  sein, da sonst der serielle Widerstand der LED erhöht wird und folglich Wärme abgestrahlt wird. Die N-Schichtdicke soll nicht größer als 10 µm sein, da sonst das Saphirsubstrat der LED gebogen wird. Die N<sup>+</sup>-Schichtdicke soll nicht geringer als 2 µm sein, da sonst der serielle Widerstand der LED erhöht wird und folglich Wärme abgestrahlt wird.

Fig. 8 zeigt eine LED mit einem Saphirsubstrat 1, worauf aufeinanderfolgend 5 Schichten gebildet sind: eine 500 Å dicke AlN-Pufferschicht 2, eine 2,2 µm dicke GaN-N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration, eine 1,5 µm dicke GaN-N-Schicht 4 mit geringer Ladungskonzentration, eine etwa 400 Å dicke GaN-I-Schicht 6 und eine 0,2 µm dicke GaN-I-Schicht 50. Die I-Schicht 50 beinhaltet in einer bestimmten Position eine P-Schicht 5 vom P-Typ.

Ein Loch 15, das bis zur N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration reicht, ist von der Oberfläche der I-Schicht 50 aus durch 3 Schichten hindurch, der I-Schicht 50, der I-Schicht 6 und der N-Schicht 4 mit geringer Ladungskonzentration gebildet. Eine Aluminiumelektrode 52, die bis zur N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration reicht, ist auf der I-Schicht 50 durch das Loch 15 gebildet. Eine andere Aluminiumelektrode 51 ist auf der P-Schicht 5 gebildet und steht mit ihr in Kontakt. Die Elektrode 52 für die N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration ist von der P-Schicht 5 durch die I-Schicht 50 elektrisch isoliert.

Fig. 9 bis 15 zeigen Schnittansichten eines Elements auf einem Wafer. In Praxis werden Elemente, die so in Folge gebildet werden, in einzelne Elemente aufgeteilt, nachdem die folgenden Verfahren durchgeführt worden sind, um die in Fig. 8 gezeigte Struktur auszubilden. Ein Wafer, der in Fig. 9 gezeigt ist, wird auf dieselbe Weise wie der Wafer nach Beispiel 1 hergestellt. Auf der GaN-I-Schicht 50 wurde eine 2000 Å dicke SiO<sub>2</sub>-Schicht 11 durch Zerstäuben gebildet, wie in Fig. 10 gezeigt. Eine Fotoresistschicht 12 wurde auf die SiO<sub>2</sub>-Schicht 11 laminiert. Ein ausgewählter Bereich des Fotoresists, mit A bezeichnet, wurde mittels Fotolithographie entfernt. Aus dem Bereich A wird ein Loch 15 auf der I-Schicht 50 gebildet, das bis zur N<sup>+</sup>-Schicht 3 reicht.

Die SiO<sub>2</sub>-Schicht 11, die nicht mit der Fotoresistschicht 12 bedeckt ist, wurde mit einer Ätzflüssigkeit wie Fluorwasserstoffsäure weggeätzt, wie in Fig. 11 gezeigt. Anschließend wurden die ungeschützten Bereiche der folgenden, von der Oberfläche der Vorrichtung her aufeinanderfolgend vier Schichten, nämlich der I-Schicht 50, der I-Schicht 6, der N-Schicht 4 mit geringer Ladungskonzentration und der obere Bereich der N<sup>+</sup>-Schicht 3 mittels Trockenätzung entfernt, indem eine hochfrequente Leistungsdichte von 0,44 W/cm<sup>2</sup> und BCl<sub>3</sub> Gas mit 10 ml/min bei einem Vakuumgrad von 0,04 Torr zugeführt wurden, wie in Fig. 12 gezeigt. Danach wurde Trockenätzung mit Ar an der Vorrichtung durchgeführt. Dadurch wurde das Loch 15 für die Elektrode 52 gebildet, das bis zur N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration reicht. Anschließend wurde der Anteil SiO<sub>2</sub>-Schicht 11, der auf der I-Schicht 50 verblieben war, mittels Fluorwasserstoffsäure entfernt, wie in Fig. 13 gezeigt.

Der P-Typbereich 5, der aus einem P-Typ-Halbleiter besteht, wurde hergestellt, indem gleichförmig Elektronen in den ausgewählten Bereich der I-Schicht 50 unter Verwendung einer Vorrichtung zur Reflexionsbeugung von Elektronen eingestrahlt wurde. Die Bedingungen der Bestrahlung waren: Beschleunigungsspannung 10 kV, Probenstrom 1 µA, Geschwindigkeit der Strahlableitung 0,2 mm/sek, Strahlöffnung 60 µmΦ und Vakuumgrad  $2,1 \times 10^{-5}$  Torr. Diese Bestrahlung führte den bestrahlten Bereich der nicht leitenden-I-Schicht 5 mit einem Widerstand von  $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$  oder mehr in einen P-Typ Halbleiter mit einem Widerstand von

$35 \Omega \cdot \text{cm}$  über. Dabei blieben die Bereiche der I-Schicht 50, die nicht mit Elektronenstrahlen bestrahlt worden waren, nicht leitend. So bildete der P-Typ Bereich 5 vertikal mit der N-Schicht 4 mit geringer Ladungskonzentration einen PN-Übergang, indem zwischen der P-Schicht 5 und der N-Schicht 4 eine dünne I-Schicht 6 angeordnet wurde.

Horizontal war der P-Typ Bereich 5 von seiner Umgebung durch die I-Schicht 50 elektrisch isoliert.

Eine Al-Schicht 20 wurde auf die Oberfläche des P-Typ Bereichs 5, der I-Schicht 50 und durch das Loch 15 auf der der N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration mittels Dampfablagerung laminiert, wie in Fig. 15 gezeigt.

Eine Fotoresistschicht 21 wurde auf die Al-Schicht 20 laminiert. Diese wurde mittels Fotolithographie weggeätzt, wobei Muster für zwei Elektroden verblieben, die mit der N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration beziehungsweise mit dem P-Typ Bereich 5 verbunden sind. Der ungeschützte Bereich der Al-Schicht 20, der nicht von dem Fotoresist 21 als Maske bedeckt war, wurde mit einem Ätzmittel wie Salpetersäure weggeätzt. Nachdem das Fotoresist 21 mit Aceton vollständig entfernt worden war, wurden zwei Elektroden, die Elektrode 52 für die N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration und die Elektrode 51 für die P-Schicht 5 gebildet, wie in Fig. 8 gezeigt. Der Wafer, der nach dem zuvor erwähnten Verfahren behandelt worden war, wurde anschließend in einzelne Elemente aufgeteilt.

Es wurde festgestellt, daß die so erhaltene LED 10 eine Leuchtkraft von 10 mcd und Wellenlänge von 460 bis 470 nm hat. Diese Ergebnisse waren dieselben wie die in Beispiel 1. Im Gegensatz zu einer herkömmlichen LED zeigt die Erfindungsgemäße ein Spektrum, das um 20 bis 50 nm zum langwelligen Ende hin verschoben ist und emittiert blaues Licht.

### Beispiel 3

Für die LED 10 im Beispiel 3 wurde die Formel für die jeweiligen vier Schichten, einer N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration und N-Schicht 4 mit geringer Ladungskonzentration, einer I-Schicht 6 und einer P-Schicht 5 in Al<sub>0,2</sub>Ga<sub>0,5</sub>In<sub>0,3</sub>N geändert. Die N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration wurde so gebildet, daß sie eine Elektronenkonzentration von  $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  dotiert mit Silikonverunreinigungen hatte. Die N-Schicht 4 mit geringer Elektronenkonzentration wurde so gebildet, daß sie eine Elektronenkonzentration von  $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$  ohne Verunreinigungen hatte. Die I-Schicht wurde so gebildet, daß sie eine Zn-Konzentration von  $3 \times 10^{20}/\text{cm}^3$  und eine Dicke von 400 Å hatte. Die P-Schicht 5 wurde so gebildet, daß sie eine Lochkonzentration von  $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$  dotiert mit Mg hatte und wurde mit Elektronenstrahlen bestrahlt. Zwei Aluminiumelektroden 7 und 8 wurde so gebildet, daß sie mit der P-Schicht 5 bzw. der N<sup>+</sup>-Schicht 3 Kontakt hatten.

Die LED 10 kann auf die gleiche Weise wie die in Beispiel 1 hergestellt werden. Trimethylindium (In(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>) wurde als eines der Gase zusätzlich zu TMG, TMA, Silan und CP<sub>2</sub>Mg für das Verfahren verwendet. Die Wachstumstemperatur und der Durchsatz der Gase in dem Verfahren waren die gleichen wie im Beispiel 1. Trimethylindium wurde mit einem Durchsatz von  $1,7 \times 10^{-4}$  mol/min zugeführt.

Ein leitender Halbleiter vom P-Typ wurde wie in Beispiel 1 erhalten, mit einer Vorrichtung zur Reflexionsbeugung von Elektronen gleichförmig auf die P-Schicht

aufgestrahlt wurden.

Es wurde gefunden, daß die dadurch erhaltene LED  
10 eine Leuchtkraft von 10 mcd und Wellenlängen von  
460 bis 480 nm hatte. Verglichen mit einer herkömmli-  
chen LED hat die erfindungsgemäße ein Spektrum, das  
um 20 bis 60 nm in Richtung langwelliges Ende verscho- 5  
ben ist und kann blaues Licht emittieren.

#### Patentansprüche

1. Lichtemittierende Halbleitervorrichtung enthal- 10  
tend:  
eine N-Schicht eines N-Typ-Halbleiters einer  
Stickstoff-Gruppe-III-Verbindung der Formel  
 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$  einschließlich  $x=0$ ,  $y=0$  und 15  
 $x=y=0$ ;  
eine P-Schicht eines P-Typ-Halbleiters einer Stick-  
stoff-Gruppe-III-Verbindung der Formel  $\text{Al}_x\text{Ga}_y$   
 $\text{In}_{1-x-y}\text{N}$  einschließlich  $x=0$ ,  $y=0$  und  $x=y=0$ ,  
dadurch gekennzeichnet, daß sie eine erste Zn do- 20  
tierte semiisolierende I-Schicht eines semiisolieren-  
den Halbleiters einer Stickstoff-Gruppe-III-Verbin-  
dung der Formel  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$  einschließlich  
 $x=0$ ,  $y=0$  und  $x=y=0$  zwischen der N-Schicht  
und der P-Schicht enthält, und daß diese mit der 25  
N-Schicht und der P-Schicht Kontakt hat.
2. Lichtemittierende Halbleitervorrichtung nach  
Anspruch 1, wobei die erste semiisolierende  
I-Schicht eine Dicke im Bereich von 20 bis 3000 Å  
hat. 30
3. Lichtemittierende Halbleitervorrichtung nach  
Anspruch 1, wobei die erste semiisolierende  
I-Schicht Zn-Verunreinigungen in einer Konzen-  
tration im Bereich von  $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  bis  $1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$  35  
enthält.
4. Lichtemittierende Halbleitervorrichtung nach  
Anspruch 1, wobei: die P-Schicht innerhalb einer  
zweiten Zn dotierten semiisolierenden I-Schicht ei-  
nes semiisolierenden Halbleiters einer Stickstoff-  
Gruppe-III-Verbindung der Formel  $\text{Al}_x\text{Ga}_y$  40  
 $\text{In}_{1-x-y}\text{N}$  einschließlich  $x=0$ ,  $y=0$  und  $x=y=0$   
angeordnet ist, wobei die zweite I-Schicht mit der  
ersten I-Schicht an einer Oberfläche Kontakt hat,  
die auch mit der P-Schicht Kontakt hat.
5. Lichtemittierende Halbleitervorrichtung nach 45  
Anspruch 4, wobei die erste semiisolierende  
I-Schicht eine Dicke von 20 bis 3000 Å hat.
6. Lichtemittierende Halbleitervorrichtung nach  
Anspruch 4, wobei die erste semiisolierende  
I-Schicht Zn-Verunreinigungen in einer Konzen- 50  
tration von  $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  bis  $1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$  enthält.

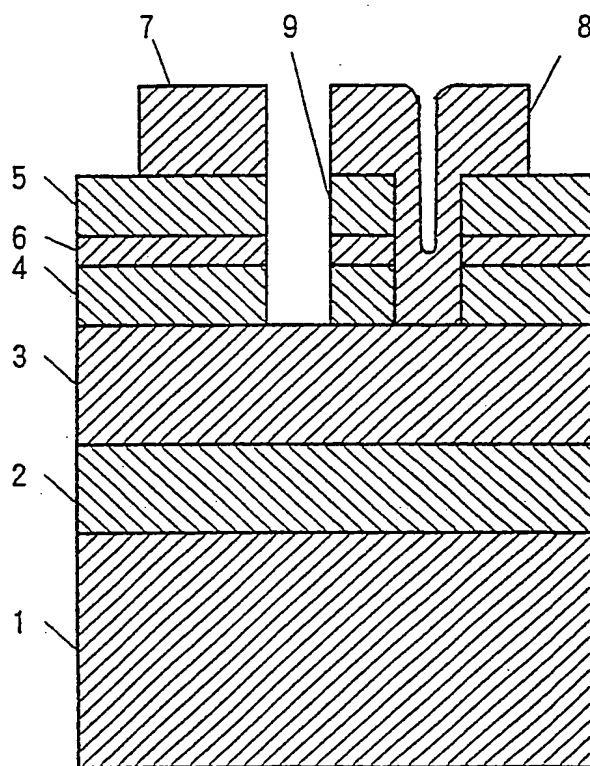
Hierzu 9 Seite(n) Zeichnungen

55

60

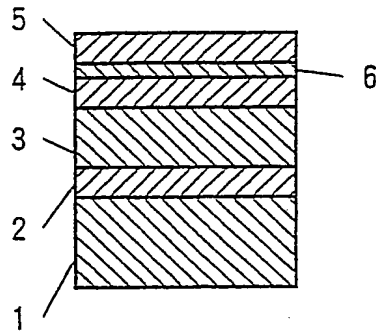
65

【FIG. 1】

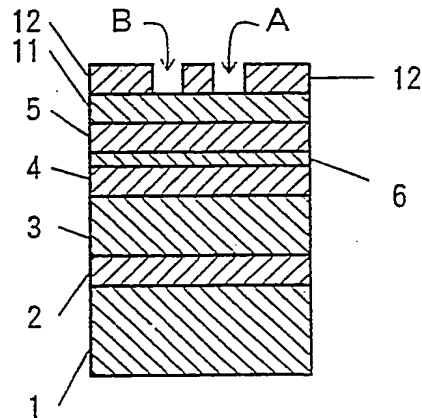


10  
↙

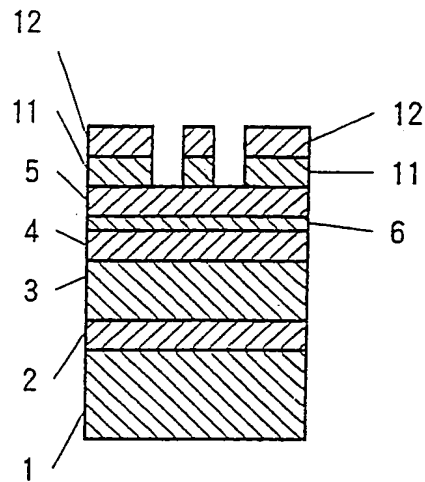
【FIG. 2】



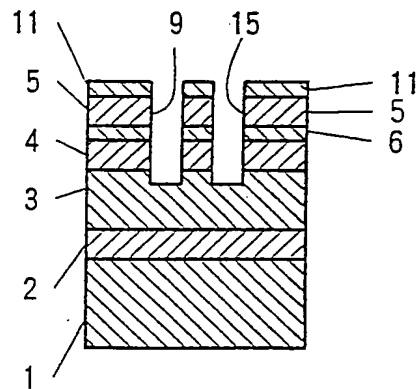
【FIG. 3】



【FIG. 4】

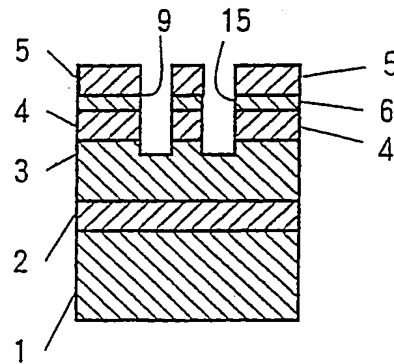


【FIG. 5】

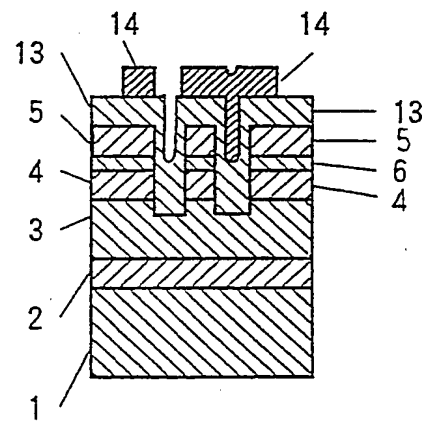




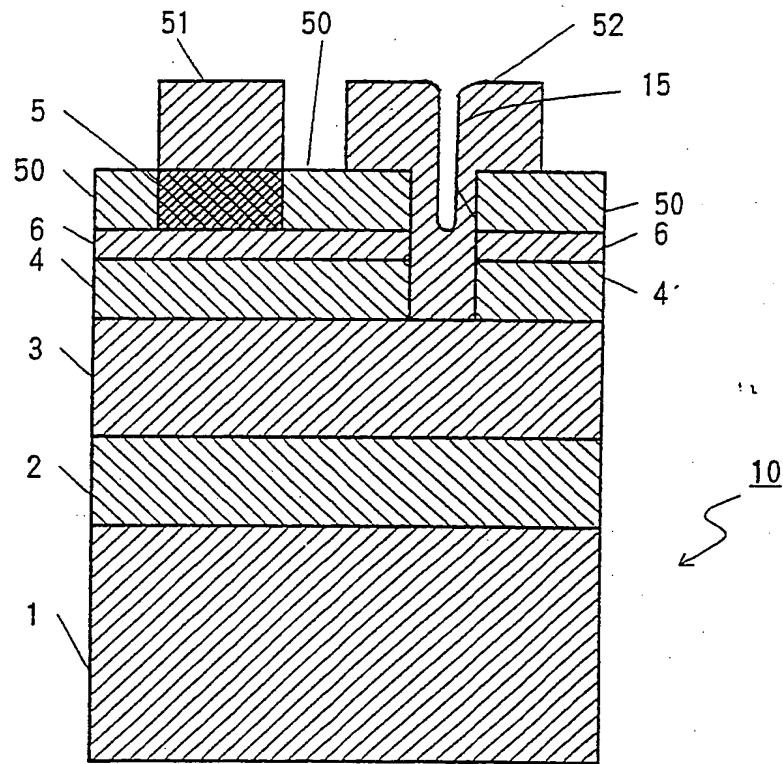
【FIG. 6】



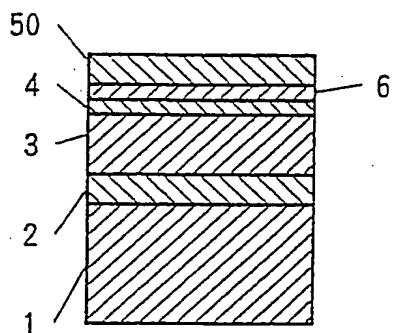
【FIG. 7】



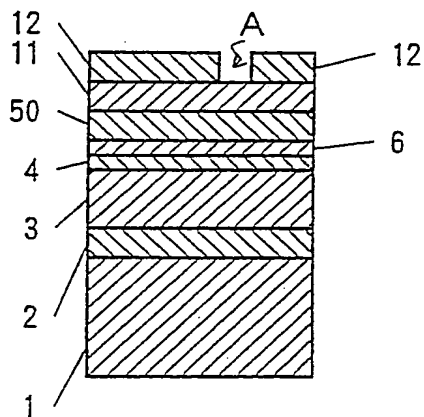
【FIG. 8】



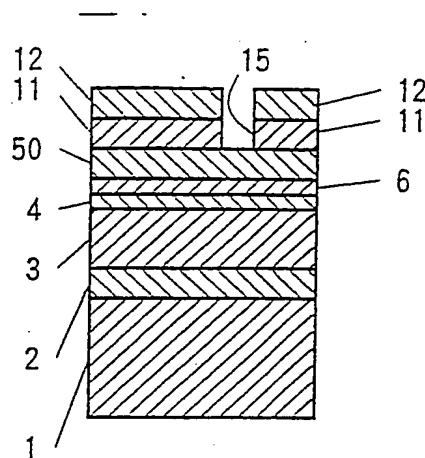
【FIG. 9】



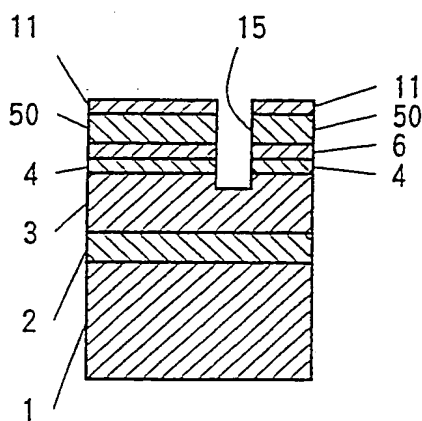
【FIG. 10】



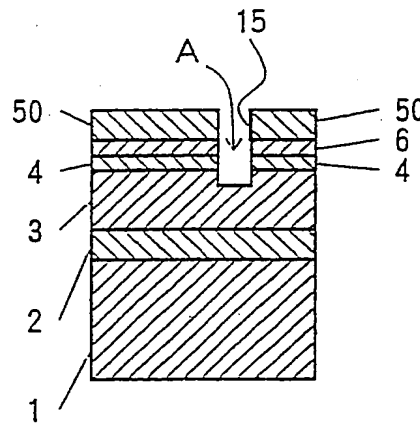
【FIG. 11】



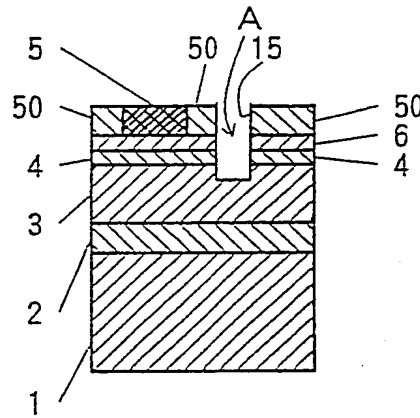
【FIG. 12】



【FIG. 13】



【FIG. 14】



【FIG. 15】

